

*Л.М. ЗАМІХОВСЬКИЙ*, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
*Р.Б. СКРИПЮК*, асистент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## **ВИБІР ДІАГНОСТИЧНОЇ ОЗНАКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВАЛКОВОГО МЛИНА AG-MPS 180BK НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЙОГО ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗА УТОЧНЕНОЮ ПЕРЕХІДНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ**

Проводиться обґрунтування вибору діагностичної ознаки стану робочих органів вертикального валкового млина AG-MPS 180BK на основі методу його параметричної ідентифікації за уточненою перехідною характеристикою, отриманою за рахунок додаткового і одночасного вимірювання сигналу швидкості обертання вала приводного електродвигуна. Встановлено, що з 16 проаналізованих моделей лишень модель P3DZU може бути використана для ідентифікації стану млина, оскільки один із її параметрів -  $Tp3$  має тенденцію до зростання із збільшенням величини зношування його робочих органів. Ключові слова: вертикальний валковий млин, параметрична ідентифікація, перехідна характеристика, діагностична ознака.

Приводится обоснование выбора диагностического признака состояния рабочих органов вертикальной валковой мельницы AG-MPS 180BK на основании метода ее параметрической идентификации за уточненной переходной характеристикой, полученной путем дополнительного и одновременного измерения сигнала скорости вращения вала приводного электродвигателя. Установлено, что из 16 проанализированных моделей только модель P3DZU может быть использована для идентификации состояния мельницы, поскольку один из ее параметров –  $Tp3$  имеет тенденцию к возрастанию с увеличением величины износа ее рабочих органов. Ключевые слова: вертикальная валковая мельница, параметрическая идентификация, переходная характеристика, диагностический признак.

The vertical roller mill AG-MPS 180BK working units technical state diagnostics features choosing groudning based on the one's parametric identification method using the refined surge characteristics, witch was received using the more and simultaneous measuring of the drive electrical motor roll rotation velocity signal. It was received the result that among 16 analyzed models only the P3DZU model can be used for the mill technical state identification. Because one from the one's parameters –  $Tp3$  has the tendency to the increase with the working units wearing value increasing. Key words: vertical roller mill, parametric identification, surge characteristics, diagnostics features.

В [1] наводяться результати дослідження зміни розгінної (перехідної) характеристики вертикального валкового млина (далі по тексті – млина), обумовленої процесом зношення його робочих органів-помольних валків і бігової доріжки помольної чаші з метою вибору раціональної діагностичної ознаки їх технічного стану. Однак отримані результати досліджень не дозволяють дати однозначної відповіді стосовно розробки на її основі методу діагностування стану робочих органів млина в процесі його експлуатації.

Останнє пояснюється спрощенням задачі ідентифікації у припущенні про вхідний сигнал системи у вигляді функції Хевісайда [2] в поєднанні із складністю ідентифікації системи високого порядку, в якій робочі органи млина (бігова доріжка та помольні валки) створюють, очевидно, недостатньо значний вклад у передавальну функцію системи в цілому.

Метою статті є обґрунтування вибору діагностичної ознаки стану робочих органів млина на основі методу його параметричної ідентифікації за уточненою перехідною характеристикою, отриманою за рахунок додаткового і одночасного вимірювання сигналу швидкості обертання на привідному валу електродвигуна. Це дозволить, по перше, точно знати вхідний сигнал системи, яка підлягає ідентифікації, та, по-друге, виконувати ідентифікацію системи нижчого порядку, оскільки, як уже вказувалось раніше [1], лише електродвигун описується ланкою 2...5 порядку, в той час як загальний порядок системи складає 7..10. З метою вирішення поставленої задачі було проведено ряд експериментів відповідно до методики, наведеної в [3] та затвердженої керівництвом ВАТ «Івано-Франківськцемент» програми. Експерименти проводилися протягом квітня-травня 2010 року, в результаті яких отримано 5 наборів даних, що відповідають різним величинам зношування робочих органів млина вимірюваних з використанням методики [4]. Приклад одночасно вимірюваних сигналів швидкості обертання привідного електродвигуна та помольної чаші приведено на рис.1. Для отриманих наборів даних було проведено параметричну ідентифікацію за методикою, аналогічною до викладеної в [5]. На першому етапі було визначено орієнтовний порядок моделі та її оптимальний тип. Серед моделей ARX, ARMAX, OE, BJ, як і в [1], оптимальною виявилась модель Output-Error. На рис. 2 наведено приклад результату симуляції виходу моделі, де для кожної моделі показано лише результат симуляції для мінімальних порядків, які забезпечують достатню степінь співпадіння. Наприклад, вихід моделі OE з порядками  $nb=3$ ,  $nf=3$ ,  $nk=2$  та з порядками  $nb=7$ ,  $nf=7$ ,  $nk=2$  відрізняються на величину порядку 2%, але кількість параметрів, які підлягають ідентифікації, суттєво нижча, в зв'язку з чим за оптимальний прийнято перший набір порядків.

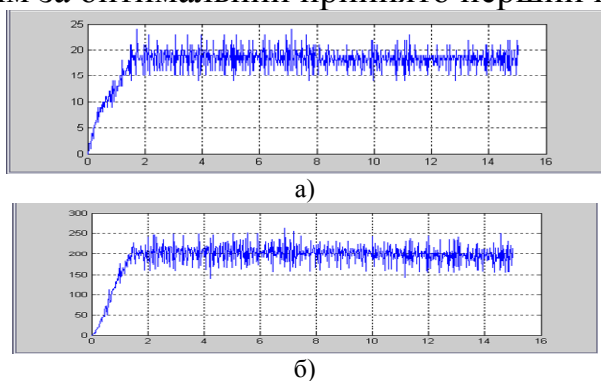


Рис. 1 – Одночасно виміряні сигнали швидкості привідного електродвигуна (а) та помольної чаші (б)

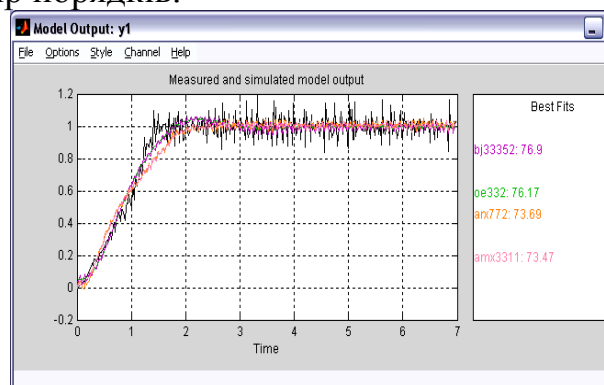


Рис. 2 – Результат симуляції знайденими моделями для розгінних характеристик за 09.04.10

З аналогічних міркувань даній моделі надається перевага перед моделлю Бокса-Дженкінса з порядками nb=3, nf=5, nk=2, nd=3, nc=3. Результат вибору моделі для всіх п'яти експериментів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результат вибору оптимальної моделі

Дата експеримента	Модель, що забезпечує оптимальний результат	Степінь подібності, %
09.04.10	OE, nb=3, nf=3, nk=2	76.17
23.04.10	OE, nb=3, nf=3, nk=1	62.83
30.04.10	OE, nb=3, nf=3, nk=1	60.04
11.05.10	OE, nb=3, nf=1, nk=2	68.92
18.05.10	OE, nb=3, nf=2, nk=1	69.25

Дані результати свідчать, що порядок системи, яка підлягає ідентифікації, можна обрати рівним 3. В зв'язку з цим для виконання параметричної ідентифікації можна застосувати також засіб ідентифікації моделей низького порядку (1...3) систем неперервного часу (Low-Order, Continuous-Time Process Models) середовища Matlab, де модель представляється у вигляді неперервної передавальної функції та оцінюються її параметри, такі як коефіцієнт підсилення, запізнення та постійні часу (рис. 3).

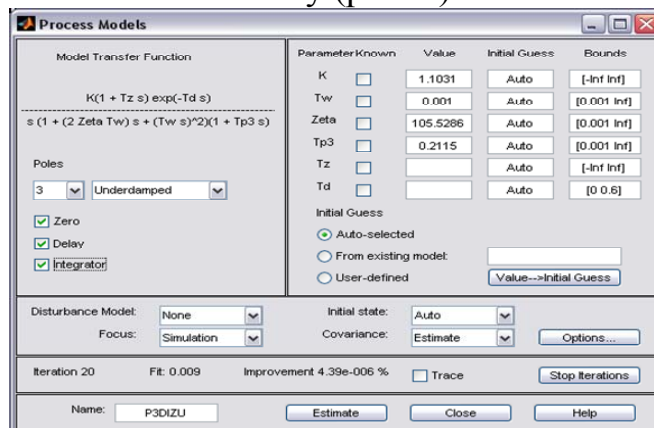


Рис. 3 – Вікно ідентифікації неперервних моделей

Доступні для оцінювання моделі 3-го порядку включають:

- модель з усіма дійсними полюсами:

$$K(s) = \frac{K}{(1 + Tp1 \cdot s)(1 + Tp2 \cdot s)(1 + Tp3 \cdot s)} ; \quad (1)$$

- модель з коливною ланкою (underdamped):

$$K(s) = \frac{K}{(1 + 2 \cdot Zeta \cdot Tw \cdot s + (Tw \cdot s)^2)(1 + Tp3 \cdot s)} ; \quad (2)$$

- а також комбінації обох вказаних моделей з інтегратором (Integrator, додається множник s у знаменнику), запізненням (Delay, додається множник  $e^{-Td \cdot s}$  у чисельнику) та одним нулем (Zero, додається множник  $(1 + Tz \cdot s)$  у чисельнику).

Умовні позначення всіх можливих моделей наведено в табл. 2.

Таблиця 2– Неперервні моделі 3-го порядку System Identification Toolbox

	з дійсними полюсами		з коливною ланкою	
	з нулем	без нуля	з нулем	без нуля
основна форма	P3	P3Z	P3U	P3ZU
з інтегратором	P3I	P3IZ	P3IU	P3IZU
з затримкою	P3D	P3DZ	P3DU	P3DZU
з інтегратором і затримкою	P3DI	P3DIZ	P3DIU	P3DIZU

Виходячи із аналізу передавальної функції системи, розглянутої в [1], недоцільним є розгляд моделей з інтегратором (оскільки вимірюваним параметром є швидкість, а не переміщення), а також з усіма дійсними полюсами, оскільки помольна чаша описується коливною ланкою.

При спробі застосування моделі з усіма дійсними полюсами на основі аналізу даних системою Matlab видається попередження про наявність коливної ланки:

There is an indication that the poles may be underdamped.  
Consider the possibility to use an underdamped model.  
(Include 'U' in the model definition.)

Втім, як видно із вигляду розгінної характеристики, коливання у встановленому режимі є досить незначними, тому застосування моделі з усіма дійсними полюсами дозволяє досягти не менших, а іноді і більших значень степені подібності результату симуляції виходу моделі порівняно з експериментальними даними. Так, на рис. 4 наведено результати симуляції виходу моделі для набору даних за результатами експерименту від 09.04.10 для всіх можливих 16 неперервних моделей.

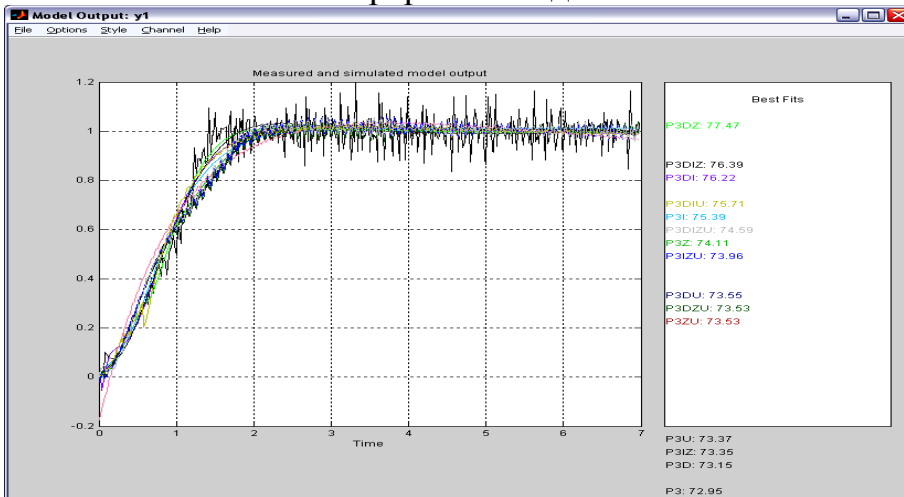


Рис. 4 – Результати симуляції виходу моделі для неперервних моделей

Найвищий показник співпадіння забезпечує модель з усіма дійсними полюсами з нулем та затримкою (77.47%), однак розкид між степенями співпадіння для різних моделей складає всього 5%. При виконанні параметричної ідентифікації

на основі даних сигналів без будь-якої попередньої їх обробки отримані значення степені подібності знаходяться в межах 60...77%. Це пояснюється значною зашумленістю сигналів, зокрема, в зв'язку із особливостями використаної системи вимірювання повний діапазон зміни сигналу швидкості привідного електродвигуна складає всього 20-25 одиниць, що призводить до

наявності шуму квантування з середньоквадратичним відхиленням порядку 1.2...1.4% від діапазону зміни сигналу, а для невеликих значень швидкості, характерних для початкової ділянки розгінної характеристики, відносна похибка квантування суттєво зростає.

В зв'язку з цим було прийнято рішення про згладжування експериментальних даних. Середовище Matlab забезпечує різні способи згладжування [6], наприклад:

- методом ковзного середнього;
- методом локальної поліноміальної регресії (першого та другого порядку);
- фільтрація Савіцкого-Голея(Savitzky-Golay filtering, поліноміальний згладжуючий фільтр);
- медіанна фільтрація;
- фільтрація з використанням згладжуючих сплайнів.

Для методів локальної регресії існують також та звані «робастні» версії, які дозволяють усунути вплив випадкових локальних викидів високої амплітуди. Цією ж властивістю характеризується медіанна фільтрація [6]. Набір експериментальних даних, що підлягає обробці, не містить таких викидів, тому дані методи надалі не розглядаються. Фільтрація Савіцкого-Голея застосовується в тих випадках, коли необхідне збереження високочастотної складової сигналу (яка зазвичай відфільтровується такими методами, як ковзне середнє та методи локальної регресії). В даному випадку інформативні складові сигналу знаходяться в області низьких частот, тому даний метод також не розглядається.

Метод локальної регресії [6] (англ. locally weighted scatterplot smoothing, скорочено LOWESS або LOESS) передбачає, що кожен відлік згладженого сигналу шукається як значення функції регресії, що оцінюється в околі даного відліку. Крива регресії являє собою умовне математичне очікування вихідної величини як функцію однієї або декількох вхідних величин. Параметри цієї функції зазвичай оцінюють методом найменших квадратів, мінімізуючи величину

$$\sum_{i=0}^{N-1} (\hat{Y}_i - Y_i)^2 \rightarrow \min ; \quad (3)$$

де  $Y_i$  - виміряні значення вихідної величини,  $\hat{Y}_i$  - оцінки значень за допомогою функції регресії. Найчастіше застосовують лінійну або квадратичну функцію регресії, значно рідше застосовують поліноміальні функції вищих порядків. По точках, які оточують поточний відлік, будується апроксимована функція (пряма або парабола), і в якості згладженого значення береться значення цієї функції у поточній точці.

Щоб досягти кращої якості згладжування, використовують зважування. Традиційною ваговою функцією є наступна:

$$w_i = \left( 1 - \left| \frac{x - x_i}{d(x)} \right|^3 \right)^3 ; \quad (4)$$

де  $x$  - точка, в якій оцінюється функція регресії,  $x_i$  - точка, для якої обчислюється вагова функція,  $d(x)$  - половина ширини інтервалу, на якому оцінюється регресія.

Метод ковзного середнього можна розглядати як частинний випадок методу лінійної регресії – при використанні в якості апроксимуючої функції поліному степені 0, тобто константи, яка на кожному інтервалі дорівнює середньому або зваженому середньому всіх відліків цього інтервалу. Параметром методів згладжування, що визначає якість і характеристики згладженого сигналу, є так звана ширина вікна, тобто кількість відліків сигналу в околі деякого відліка, які використовуються для обчислення його згладженого значення. В загальному випадку, чим більша довжина вікна, тим більше високочастотних складових і особливостей сигналу усувається в результаті згладжування.

Для прикладу на рис.5 наведено фрагмент сигналу швидкості привідного електродвигуна в момент досягнення перехідним процесом усталеного значення, згладжений методом локальної регресії першого та другого порядку. Для рис.5,а та рис. 5,в використано вікно довжиною 10 відліків, для рис.5,б та рис. 5,г – довжиною 20 відліків. Квадратична регресія, як видно з рис.5, забезпечує краще відтворення інформативної складової сигналу та усунення шуму. Оптимальна ширина вікна, визначена на основі аналізу вигляду згладжених сигналів для різної ширини вікна, складає 20-30 відліків.

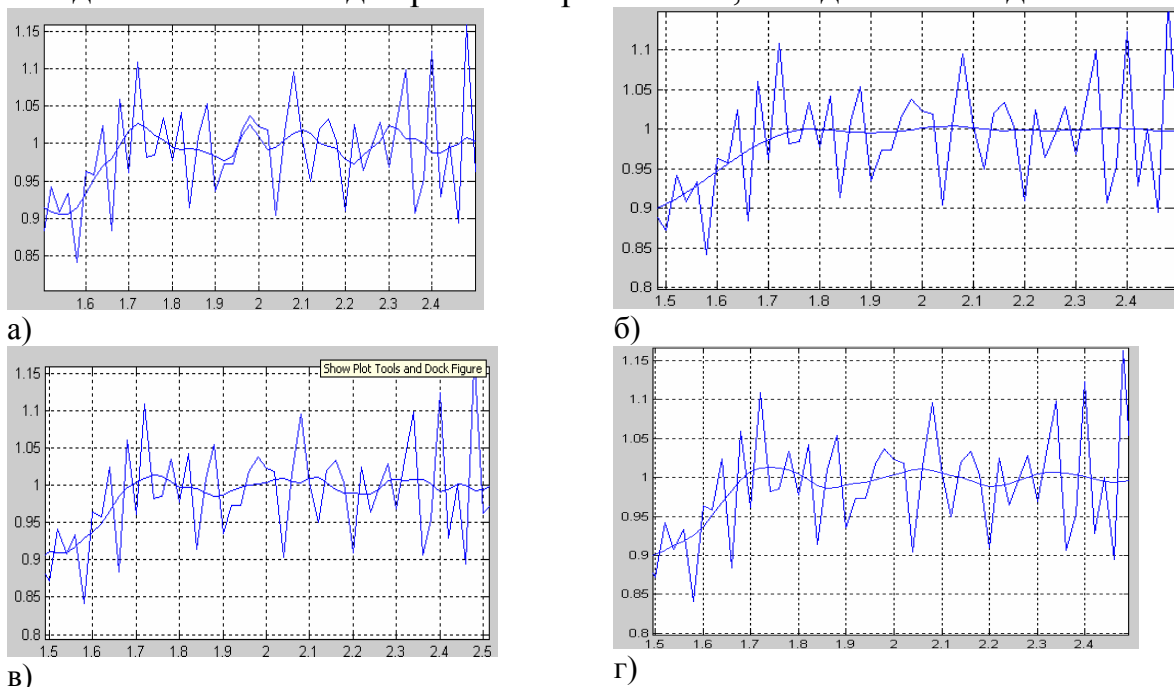
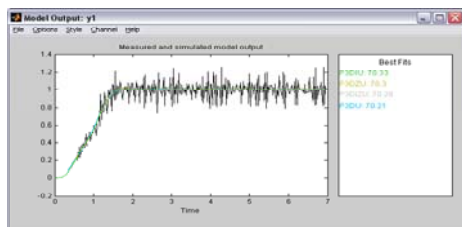
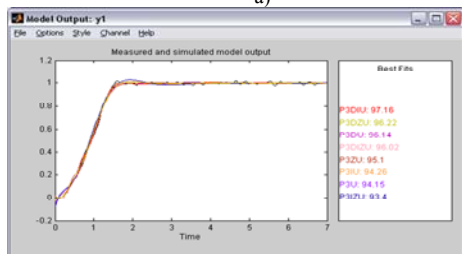


Рис. 5 – Приклад згладжування фрагменту сигналу методом локальної поліноміальної регресії 1-го (а,б) та 2-го (в,г) порядку для ширини вікна 10 (а,в) та 20 (б,г) відліків

На рис. 6 приведено порівняльні результати симуляції виходу моделі для незгладжених даних та з використанням згладжування методом локальної регресії другого порядку. Степень співпадіння підвищується в результаті від 60...77% до 90...97%, що вказує на підвищення достовірності визначення параметрів моделі при використанні згладжування.



а)



б)

Рис. 6 – Результати симуляції виходу моделі для даних за 18.05.10: а – для незгладжених даних; б – для згладжених даних

Для виявлення залежності між параметрами передавальної функції та степінню зносу робочих органів млина було проведено ідентифікацію параметрів неперервних моделей для 5 експериментів. Для досліджень було обрано моделі P3DU, P3DZU та P3ZU.

Виконувалось попереднє згладжування даних методом локальної регресії другого порядку з шириною вікна, рівною 30. Результати розрахунків представлено в табл. 3-5.

Таблиця 3 – Значення параметрів моделі P3DZU для всіх наборів даних

Дата проведення експерименту	Параметри моделі					
	Kp	Tw	Zeta	Tr3	Td	Tz
09.04.10	1.0006	0.3026	0.0109	0.0592	0	-0.2277
23.04.10	1.0544	0.4680	0.0010	0.1023	0.4145	0.1774
30.04.10	1.0923	0.6413	0.0117	0.2366	0.1314	-0.5176
11.05.10	1.0210	0.1399	0.6143	0.5529	0	0.6423
18.05.10	1.0336	0.3318	0.5088	5.4478	0	5.3706

Таблиця 4 – Значення параметрів моделі P3DU для всіх наборів даних

Дата проведення експерименту	Параметри моделі				
	Kp	Tw	Zeta	Tr3	Td
09.04.10	1.0008	0.2997	0.0658	0.0010	0.2180
23.04.10	1.0551	0.3909	0.0010	0.1319	0.0801
30.04.10	1.0929	0.6807	0.2427	0.1356	0.6000
11.05.10	1.0214	0.2018	0.1726	0.2642	0
18.05.10	1.0349	0.4768	0.1857	0.2775	0.2203

Таблиця 5 – Значення параметрів моделі P3ZU для всіх наборів даних

Дата проведення експерименту	Параметри моделі				
	Kp	Tw	Zeta	Tr3	Tz
09.04.10	1.0004	0.3021	0.0361	0.0652	-0.1899
23.04.10	1.0552	0.3877	0.0010	0.1691	-0.0412
30.04.10	1.0901	0.3320	0.0614	0.3893	0.1257
11.05.10	1.0216	0.1426	0.4653	0.5900	0.6654
18.05.10	1.0333	0.3117	0.0010	0.1580	-0.2547

Як видно із результатів розрахунків, один із параметрів (Tr3) (рис. 7) систематично змінюється від менших до більших значень для моделей із затримкою.

## **Висновок**

З розглянутих 16 моделей найбільш прийнятною з точки зору поставленої задачі є модель P3DZU, оскільки один із її параметрів (Tr3) збільшується із збільшенням величини зношування робочих органів млина.

Для використання вказаного параметру як діагностичної ознаки ступеня зношування робочих органів млина необхідно провести додаткові експерименти по встановленню взаємозв'язку між зміною параметра Tr3 моделі P3DZU та величиною зношування робочих органів млина, який буде покладено в основу розробки методу контролю їх технічного стану.

**Список літератури:** 1. Заміховський Л.М. Розгінна характеристика вертикального валкового млина PFEIFFER AG - MPS 180BK як діагностична ознака технічного стану його робочих органів [ Текст ]/ Заміховський Л.М., Скрипюк Р.Б.// Нафтогазова енергетика.- 2010.- № 2(13).- С.38-46. 2. Дьяконов В., Круглов В. MatLab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448с. 3. Заміховський Л.М. Використання методу непараметричної ідентифікації для діагностування технічного стану робочих органів вертикального валкового млина AG MPS 180 BK [ Текст ]/ Заміховський Л.М., Скрипюк Р.Б.//Вісник нац. тех. ун-ту «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2009.- с.89-93. 4. Заміховський Л.М. Дослідження зношення робочих органів вертикального валкового млина MPS 180 BK [ Текст ]/ Заміховський Л.М., Скрипюк Р.Б.//Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. - 2008. - №72.- С. 34-39. 5. Заміховський Л.М. Параметрична ідентифікація технічного стану робочих органів вертикального валкового млина в середовищі Matlab [Текст]/ Заміховський Л.М., Скрипюк Р.Б.// Наукові вісті Галицької академії. – Івано-Франківськ. – 2010. – Вип. 2(18). – С.4-14. 6. Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. Численные методы. Использование MATLAB. 3-е издание. – М.: Вильямс, 2001. – 720с.

*Поступила в редколлегию 01.12.2010*

**УДК 681.513.5**

**Я.І. ЗАЯЧУК**, канд. техн. наук, доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## **ETHERNET ТА ПРОМИСЛОВІ МЕРЕЖІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

У статті розглядається питання перспективності використання стандартів Real-Time Ethernet для передачі даних в мережах реального часу. Висвітлено переваги мереж Ethernet перед традиційними польовими шинами, даний огляд основних стандартів RealTime Ethernet, специфіки їх використання, можливостей

Ключові слова: промислова мережа, Etherne/IP .

В статье рассматривается вопрос перспективности использования стандартов Real-Time Ethernet для передачи данных в сетях реального времени. Освещены преимущества сетей Ethernet перед традиционными полевыми шинами, дан обзор основных стандартов RealTime Ethernet, специфика их использования, возможностей.

Ключевые слова: промышленная сеть, Etherne/IP.

The article discusses the prospects of using standard Real-Time Ethernet for data transmission in real-time networks. The advantages of Ethernet over traditional fieldbus, an overview of the basic standards of RealTime Ethernet, the specifics of their use, functionality.